

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Aki Juutinen

KALLIO- JA SORAMURSKEEN VERTAILU

Opinnäytetyö
Helmikuu 2015



OPINNÄYTETYÖ
Helmikuu 2015
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80220 JOENSUU
p. 013 260 6800

Tekijä
Aki Juutinen

Nimeke
Kallio- ja soramurskeen vertailu

Toimeksiantaja
NCC Roads Oy

Tiivistelmä

Tämän tutkimuksen tarkoitus on vertailla taloudellisesti kallio- ja soramurskeen eroja maarakennuksessa ja erityisesti piha-alueilla yleisesti käytettyjä rakennekerrosvaihtoehtoja. Piha-alueiden rakennekerroksien vertailua on tutkittu laskennallisesti, sekä tutkimusta varten tehtyjen koerakenteiden avulla. Tutkimuksen tavoitteena oli saada kustannustietoa eri rakennetyypeistä piharakenteista. Tutkimuksen laskennallista vertailua on tehty murskelaatujen alueellisten keskiarvojen mukaan. Koerakenteita varten valittiin yksi Joensuun alueen viidestä suurimmasta CE- hyväksytyn soramurskeen toimittajasta. Esimerkkirakenteiksi valittiin yleisimmin toteutettavat, eli noin 1000 mm:n syvyyteen ulottuvat massanvaihdot piharakenteissa.

Laskennallisessa vertailussa taloudellisesti edullisimmaksi rakennekerroksiksi todettiin eristetty rakenne toteutettuna kalliomurskeella. Koerakenteissa tehtyjen mittaustulosten ja esimerkkinä käytetyn pihatyömaan työmenekkien vertailussa todettiin edullisimmaksi vaihtoehdoksi myös eristetty rakenne toteutettuna kalliomurskeella. Kokonaiskustannukseksi kalliomurskeella toteutetussa eristetyssä rakenteessa saatiin 31.30 €/m². Soramurskeella toteutetun eristetyksen rakenteen kokonaishinta oli 41.87 €/m², hinta muodostuu materiaalikustannuksista 33.80 €/m², ja lisätyökustannuksista 8.07 €/m².

Tulosten perusteella voidaan todeta, että eristetty piharakenne toteutettuna kalliomurskeella on lähes 25 % edullisempi vaihtoehto.

Kieli

suomi

Sivuja 36

Liitteet 12

Asiasanat

Kalliomurske, soramurske, rakennekerros



THESIS
February 2015

Degree Programme in Civil engineering
Karjalankatu 3
80220 JOENSUU
FINLAND
Tel. 013 260 6800

Author (s)
Aki Juutinen

Title
Comparison of Crushed Rock and Crushed Gravel

Commissioned by
NCC Roads Oy

This thesis is a comparative study on the differences between crushed rock and crushed gravel used in earthmoving. The study was made from an economical point of view. The purpose of this study was to find out which crushed stone is more cost-effective to use when making yard constructions. The study was executed in testing fields that were made especially for this study. The testing fields were used for measuring which stone material has more bearing capacity and compactness. The study also compares the expenses of different construction types.

Based on the calculations the most economically feasible structural layers were found to be an isolated structure implemented with crushed rock. In the test setup of the measurement, and in the example of the yard as work-site comparison, the most economical option was also isolated structure implemented with crushed rock. The total cost of an isolated structure with crushed rock was 31.30 € / m². The total price of an isolated structure implemented with crushed gravel was 41.87 € / m² including raw material costs 33.80 € / m² and extra labor cost 8.07 € / m². Based on the results it can be concluded that the isolated yard structure implemented with crushed rock is an almost 25 per cent less expensive option.

The study showed that crushed rock is more cost-effective to use in yard constructions.

Language

Finnish

Pages 36

Appendices 12

Keywords

crushed rock, crushed gravel, structural layer

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Opinnäytetyön lähtökohdat ja tietoperusta	5
3	Kallio- ja soramurskeen vertailu laskennallisesti	7
3.1	Piha-alueen vaihtoehtoiset rakennemitoitukset	8
3.2	Piha-alueen normaali rakenne, toteutettu soramurskeella	11
3.3	Piha-alueen normaali rakenne, toteutettu kalliomurskeella	13
3.4	Piha-alueen eristetty rakenne, toteutettu soramurskeella	15
3.5	Piha-alueen eristetty rakenne, toteutettu kalliomurskeella	17
4	Vertailu koerakenteissa	19
4.1	Materiaalit ja tiivistys	19
4.2	Koerakenteissa suoritettut mittaukset	22
4.3	Koerakenteissa suoritettut tiiviys- ja kantavuuskokeet	23
5	Kustannusvertailu	31
5.1	Työ- ja materiaalikustannusten vertailu	31
5.2	Johtopäätökset	34
6	Pohdinta	35
	Lähteet	37

1 Johdanto

Keväällä 2014 tiedustelin Joensuussa toimivalta NCC Roads Oy kiviainesyksiköltä toimeksiantoa opinnäytetyöhön kallio- ja soramurskeen vertailusta. NCC Roads Oy oli kiinnostunut aiheesta, ja heillä oli selkeä tarve kehittää kiviainemyyntiään näiltä osin. Toimeksiantajalla on tietoa kalliomurskeen paremmista tiiviys- ja kantavuusarvoista, mutta taloudellista vertailua sora- ja kalliomurskeella toteutetuista rakennekerroksista ei ole.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja verrata erityyppisiä yleisesti käytettyjä rakennekerrosvaihtoehtoja, jotka täyttävät piha-alueille asetetut määräykset. Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kustannustehokkain ja toimivin vaihtoehto eri rakennetyypeistä.

Tutkimuksessa on lisäksi vertailtu koerakennekenttien avulla eri murskelaatujen ominaisuuksia työmaaolosuhteissa. Opinnäytetyön toimeksiantaja NCC Roads Oy on Pohjoismaiden suurin kiviainestoimittaja.

2 Opinnäytetyön lähtökohdat ja tietoperusta

Opinnäytetyöni lähtökohtana oli vertailla kalliomurskeen ja soramurskeen ominaisuuksia. Kalliomurskeen tiedettyjä etuja ovat tasalaatuisuus ja paremmat ominaisuudet tiiveys- ja kantavuuskokeissa, mutta soramurskeen käyttöä puolustaa edullisempi hankintahinta. Tutkimukseni tarkoitus oli selvittää erilaisilla rakennekerroslaskelmilla ja koerakenteilla, kumman murskelaadun käyttö on lopulta kustannustehokkaampaa.

Kalliomurske (KaM) on kalliosta louhimalla irrotettua kiviainesta, josta murskaamalla ja seulomalla saadaan haluttuja lajitteita. Kalliomurskeen kaikki pinnat ovat murtopintaisia. Kalliomurskeen staattinen kimmomoduuli, eli E-moduuli on 280 MPa.

Soramurske (SrM) on sorasta ja kivikosta murskaamalla valmistettua kiviainesta, josta seulomalla saadaan haluttuja lajitteita. Soramurskeessa on rakeita, joissa on kokonaan luonnonpinnat, sekä rakeita, joissa on osittain tai kokonaan murtopinnat. CE-hyväksytyssä soramurskeessa 70 % kiviaineksen rakeista on murtopintaisia. Soramurskeen staattinen kimmomoduuli, eli E-moduuli on Joensuun seudulla 200 MPa.

Tutkimukseni laskelmat on tehty murskelaatujen tyypillisiä arvoja käyttäen. Koerakenteissa koekentät tehtiin NCC Roads Oy Joensuun toimipisteen kalliomurskeesta, ja vertailussa käytetty soramurske tilattiin eräältä alueen suurimmalta soramursketoimittajalta.

3 Kallio- ja soramurskeen vertailu laskennallisesti

3.1 Piha-alueen vaihtoehtoiset rakennemitoitukset

Piha-alueen vaihtoehtoisten rakennemitoitusten laskennassa on käytetty mitoitusta kantavuuden perusteella. Laskenta on tehty neljälle erilaiselle rakenteelle:

- normaali rakenne, kantava ja jakava kerros soramursketta (SrM 0/31mm).
- normaali rakenne, kantava ja jakava kerros kalliomursketta (KaM 0/56mm).
- eristetty rakenne kantava ja jakava kerros soramursketta (SrM 0/31mm).
- eristetty rakenne kantava ja jakava kerros kalliomursketta (KaM 0/56mm).

Laskennassa on käytetty soramurskeen E-moduulina 200 MN:a neliömetriä kohti. Tämä on rakeisuuden mukaan määriteltynä tyypillinen soramurskeen arvo Joensuun seudulla. Kalliomurskeen E-moduulina on käytetty arvoa 280 MN:a neliömetriä kohti. Hiekan E-moduulina on käytetty arvoa 70 MN:a neliömetriä kohti.

Kantavuusmitoitus on tehty Rakennusinsinöörien Liiton RIL 234 – 2007:n mukaan. Pohjamaaksi valittiin hiekkainen siltti, joka on tyypillinen pohjamaa Joensuun kaupunkialueella.

Laskennassa pihan aluetyypiksi on määritetty luokka 3:

Henkilöautoliikenteelle tarkoitettut piha- ja paikoitusalueet, joilla on satunnaista raskaiden ajoneuvojen liikennettä. Puhtaanapito hoidetaan traktoriluokan tai sitä raskaammalla puhtaanapitokalustolla (RIL 234 – 2007 Pihojen pohja- ja päällysrakenteet: suunnittelu- ja rakentamisohjeet).

Aluetyypissä 3 tavoitekantavuus kantavankerroksen päältä on 160 MN/m².

Kantavuus lasketaan Odemarkin mitoitusyhtälöllä (kaava 1)

(1)

$$E_p = \frac{E_A}{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2}}\right) \frac{E_A}{E} + \frac{1}{\sqrt{1 + 0,81 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2 \left(\frac{E}{E_A}\right)^{2/3}}}}$$

E_A on mitoitettavan kerroksen alta saavutettava kantavuus (MPa)

E_p on mitoitettavan kerroksen päältä saavutettava kantavuus (MPa)

E on mitoitettavan kerroksen materiaalin E-moduuli (MPa)

h on mitoitettavan kerroksen paksuus (m)

a on levykuormituskokeen levyn säde (m)

Routanousu lasketaan tuotevaatimusten mukaan kaavalla 2:

$$RN_{lask} = (S - a_1 \cdot R_1 - a_2 \cdot R_2 \text{ jne.}) \cdot t/100 \quad (2)$$

RN_{lask} on laskennallinen routanousu

S on routaantumissyvyys, (Kuva 1)

R_i on routimattoman kerroksen paksuus

t on pohjamaan turpoama

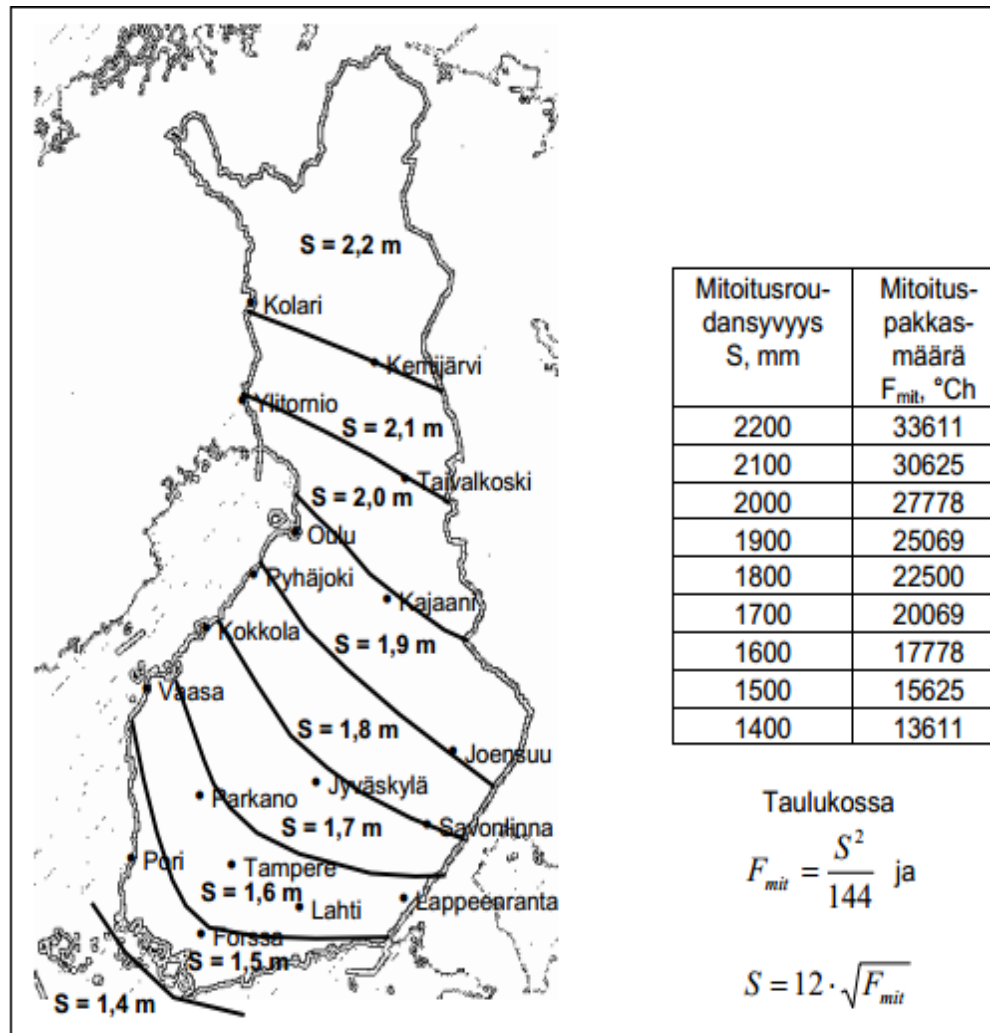
a_1 on materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta, materiaalien arvot ovat standardisoituja.

Pohjamaan turpoama saadaan taulukosta 1: Tien pohjamaan ja alusrakenteen kelpoisuusluokat ja mitoitusominaisuudet (Tierakenteen suunnittelu, 35)

Taulukko 1

Kelpoi- suus- luokka	Läpäisy-% pesuseulon- nassa		Routa- turpoama t (%)		E -moduuli (MPa)		Informatiivisia tietoja		
	0,063 mm seula	2 mm seula	Kui- va	Mär- kä	Kui- va	Mär- kä	Geo- maalaji- luokka	Routi- vuus	Mahdolli- nen käyttö- kohde
S1	alle 7	alle 70	0	0	100	100	Sr, srHk (SrMr, srHkMr)	routi- maton	jakava kerros
S2 ¹⁾	7 – 15	alle 70	0	3	70	50	SrMr, srHkMr	lievästi routiva	penger, stabilointi
S3	16 - 30	alle 70	3	6	50	35	SrMr, srHkMr	routiva	penger kuivana
S4	31 - 50	alle 70	6	12	35	20	siSrMr sisrHkMr	routiva	penger kuivana
H1	alle 7	yli 70	0	0	70	70	Hk, (HkMr)	routi- maton	suodatin
H2 ²⁾	7 - 15	yli 70	3	3	50	50	Hk, HkMr	lievästi routiva	suodatin
H3	16 - 30	yli 70	6	12	35	20	Hk, HkMr	routiva	penger kuivana
H4	31 - 50	yli 70	6	12	35	20	siHk, siHkMr	routiva	penger kuivana

Vertailurakennekerrosten pohjamaaksi valittiin siHk, HkSi, erittäin routiva, märkä, routaturpoama (t) 12 % ja E-moduuli 20 MPa



Kuva1. Roudantumissyvyys (Tierakenteen suunnittelu, 43)

3.2 Piha-alueen normaali rakenne, toteutettu soramurskeella

Taulukossa 2 on esitetty soramurskeella toteutetun piharakenteen rakennekerroksien kerrospaksuus, materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta, sekä rakenteen kantavuus rakennekerrosten päältä.

Taulukko 2. Rakennekerrosten paksuus, vastaavuus eristävyiden kannalta, sekä kantavuus.

Kerros	E_a	h	E	E_{max}	E	Selitys	a_i
	MPa	m	MPa	MPa	MPa		
1	20	0	70	120	20	Hk	1
2	20	0,2	70	120	34	Hk	1
3	34,2	0,3	70	205	52	Hk	1
4	52,5	0,3	200	315	112	SrM 0/31	0,9
5	11,6	0,35	200	670	163	SrM 0/31	0,9
6	163,4	0,05	2500	980	203	AB	1

Esimerkkirakenne 1

Routimattoman kerroksen paksuus on 1,20 m (R_i), routaantumissyvyys on 1,90 m (S), pohjamaan turpoama on 12 % (t), Pihojen pohja- ja päällysrakenteet, aluetyyppi 3 tavoitekantavuus 160 MPa täyttyy. Laskennallinen routanousu on 0,09 m.

Taulukossa 3 on mitoitetuille rakenteille määritetty vertailukelpoinen kustannushinta.

Taulukko 3. Vertailukelpoinen kustannushinta.

Materiaali	Paksuus,m	€/m ² , €/m ³	€ /m ²
Hiekka	0,5	14	7
SrM 0/31	0,65	18	11,7
Asfaltti	0,05	8,2	8,2
Yhteensä	1,2	-	26,9

3.3 Piha-alueen normaali rakenne, toteutettu kalliomurskeella

Taulukossa 4 on esitetty kalliomurskeella toteutetun piharakenteen rakennekerroksien kerrospaksuus, materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta, sekä rakenteen kantavuus rakennekerrosten päältä.

Taulukko 4. Rakennekerrosten paksuus, vastaavuus eristävyiden kannalta, sekä kantavuus

Kerros	E_a	h	E	E_{max}	E	Selitys	a_i
	MPa	m	MPa	MPa	MPa		
1	20	0	70	120	20	Hk	1
2	20	0,0	70	120	20	Hk	1
3	34,2	0,2	70	120	34	Hk	1
4	34,2	0,25	70	205	50	Hk	1
5	50,2	0,50	280	301	163	KaM 0/56	0,9
6	163,3	0,05	2500	980	203	AB	1

Esimerkkirakenne 2

Routimattoman kerroksen paksuus on 1,00 m (R_i), routaantumisvyvyys on 1,90 m (S), pohjamaan turpoama on 12 % (t), Pihojen pohja- ja päällysrakenteet, aluetyyppi 3 tavoitekantavuus 160 MPa täyttyy. Laskennallinen routanousu on 0,11 m.

Taulukossa 5 on mitoitetuille rakenteille määritetty vertailukelpoinen kustannushinta.

Taulukko 5. Vertailukelpoinen kustannushinta.

Materiaali	Paksuus,m	€/m ² , €/m ³	€/m ²
Hiekka	0,45	14	6,3
KaM 0/56	0,5	22	11
Asfaltti	0,05	8,2	8,2
Yhteensä	1	-	25,5

3.4 Piha-alueen eristetty rakenne, toteutettu soramurskeella

Taulukossa 6 on esitetty soramurskeella toteutetun eristetyn piharakenteen rakennekerroksien kerrospaksuus, materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta, sekä rakenteen kantavuus rakennekerrosten päältä.

Taulukko 6. Rakennekerrosten paksuus, vastaavuus eristävyiden kannalta, sekä kantavuus

Kerros	E _a		h	E	E _{max}	E	Selitys	a _i
	MPa		m	MPa	MPa	MPa		
1	20	0,15	70	120	20	Hk		1
2	30,1	0,05	70	181	20	XPS erist.		20
3	31,8	0,2	200	191	34	SrM 0/31		0,9
4	67,8	0,25	200	407	50	SrM 0/31		0,9
5	118,5	0,30	200	711	163	SrM 0/31		0,9
6	162,8	0,05	2500	977	203	AB		1

Esimerkkirakenne 3

Routimattoman kerroksen paksuus on 1,00 m (R_i), routaantumissyvyys 1,90 m (S), pohjamaan turpoama on 12 % (t), Pihojen pohja- ja päällysrakenteet, aluetyyppi 3 tavoitekantavuus 160 MPa täyttyy. Laskennallinen routanousu on 0,00 m.

Taulukossa 7 on mitoitetuille rakenteille määritetty vertailukelpoinen kustannushinta.

Taulukko 7. Vertailukelpoinen kustannushinta.

Materiaali	Paksuus,m	€/m ² , €/m ³	€ /m ²
Hiekka	0,15	14	2,1
XPS erist.	0,05	10	10
SrM 0/31	0,75	18	13,5
Asfaltti	0,05	8,2	8,2
Yhteensä	1	-	33,8

3.5 Piha-alueen eristetty rakenne, kalliomurske

Taulukossa 8 on esitetty soramurskeella toteutetun eristetyn piharakenteen rakennekerroksien kerrospaksuus, materiaalin vastaavuus eristävyiden kannalta, sekä rakenteen kantavuus rakennekerrosten päältä.

Taulukko 8 Rakennekerrosten paksuus, vastaavuus eristävyiden kannalta, sekä kantavuus

Kerros	E _a		h	E	E,max	E	Selitys	a _i
	MPa		m	MPa	MPa	MPa		
1	20	0	70	120	20	Hk	1	
2	20	0,15	70	120	30	Hk	1	
3	30,1	0,05	70	181	32	XPS erist.	20	
4	31,8	0,2	280	191	77	KaM 0/56	0,9	
5	76,6	0,3	280	460	160	KaM 0/56	0,9	
6	159,6	0,05	2500	958	199	AB	1	

Esimerkkirakenne 4

Routimattoman kerroksen paksuus on 0,75 m (R_i), routaantumisvyvyys on 1,90 m (S), pohjamaan turpoama on 12 % (t), Pihojen pohja- ja päällysrakenteet, aluetyyppi 3 tavoitekantavuus 160 MPa täyttyy. Laskennallinen routanousu on 0,03 m.

Taulukossa 9 on mitoitetuille rakenteille määritetty vertailukelpoinen kustannushinta

Taulukko 9 Vertailukelpoinen kustannushinta.

Materiaali	Paksuus,m	€/m ² , €/m ³	€ /m ²
Hiekka	0,15	14	2,1
XPS erist.	0,05	10	10
KaM 0/56	0,5	22	11
Asfaltti	0,05	8,2	8,2
Yhteensä	0,75	-	31,3

Vertailemalla taulukoita 3 - 9 voidaan todeta että kalliomurskeen paremman kantavuuden mahdollistamat ohuimmat rakennekerrokset tulevat kustannuksiltaan edullisemmaksi. Tässä laskennallisessa rakennevertailussa ei ole vielä otettu huomioon työn osuutta, joka lisää kustannustehokkuutta kalliomurskeen eduksi. Taulukoista 4 ja 5 voidaan todeta, että piha-alueen normaali rakenne toteutettuna kalliomurskeella on materiaalikustannuksiltaan edullisin. Taulukoista 6 ja 7 selviää, että eristetty rakenne soramurskeella toteutettuna on materiaali-vertailun kallein.

4 Vertailu koerakenteissa

4.1 Materiaalit ja tiivistys

Koerakenteisiin valittiin neljää eri lajitetta murskeita. Soramurskelajitteet ovat kooltaan 0/55 mm ja 0/31 mm. Kalliomurskeista vastaavat koot ovat 0/56 mm ja 0/31 mm. Kallio- ja soramursketta käytettiin koerakenteisiin 46 tonnia kumpaa-kin lajitekokoja. Murskeet toimitettiin kasoihin NCC Roads Oy Joensuun toimipisteen tyhjälle murskekentälle. Tyhjä murskekenttä valittiin koerakenteidenpaikaksi, koska tiedettiin että koerakenteiden alle jäävä maa on hyvin tiivistynyttä, ja näin ollen tasaisen jäykkää.



Kuva 2. 0/31 mm kalliomurske

Koerakennekentät tehtiin pyörälustaisella kaivinkoneella. Murskeet levitettiin 40 cm paksuiksi kerroksiksi ja tasoitettiin tasolaserin avulla pinnaltaan suoraksi.



Kuva 3. Soramurskeesta tehdyn koekentän tasmaus kaivinkoneella.



Kuva 4. Koekentän tasaisuuden tarkistaminen.



Kuva 5. Koerakenteiden tiivistäminen.

4.2 Koerakenteissa suoritettut mittaukset

Koerakenteissa suoritettiin mittauksia tiivistyksen aiheuttamasta kokoonpuristumisesta. Lisäksi koerakenteissa suoritettiin tiiviys- ja kantavuuskokeet.



Kuva 6. Tiivistetty soramurske (SrM 0/31 mm)

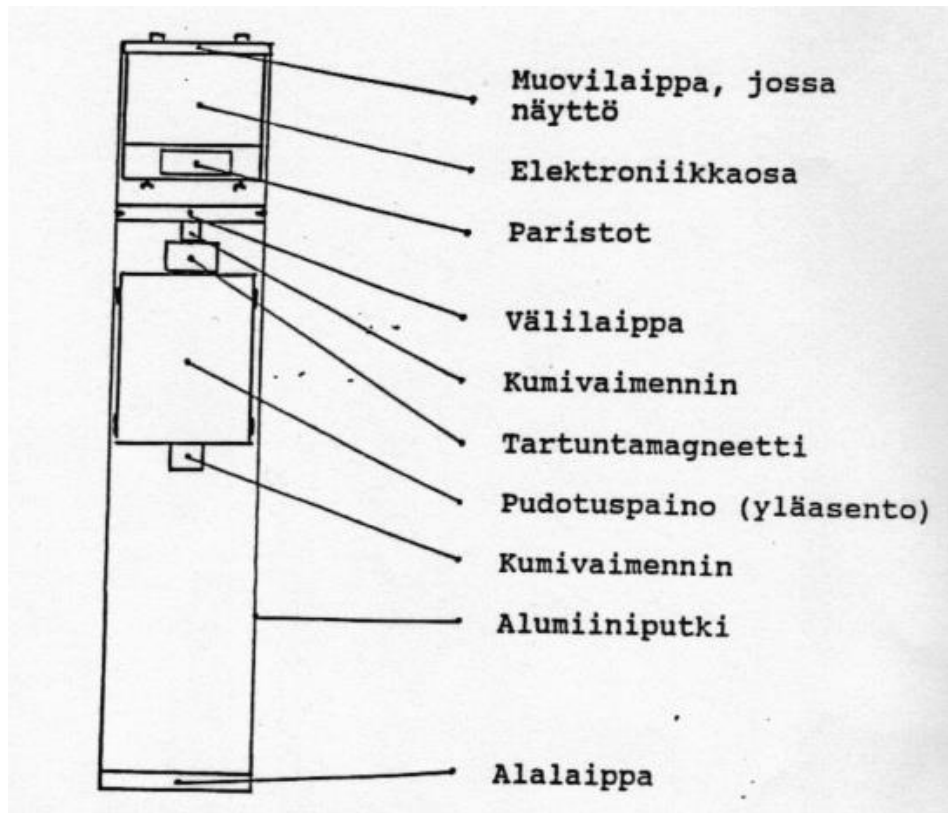


Kuva 7. Tiivistetty kalliomurske (KaM 0/31 mm).

Kuvista 6 ja 7 voidaan todeta kalliomurskeen kokoonpuristumisen olleen tasaisempaa. Soramurskeella suurin painuma koerakenteissa oli 5,5 cm/m² kun taas kalliomurskeen suurin painuma oli alle 3 cm /m². Murskeen rakeiden muoto vaikuttaa tiivistymiseen, lujuuteen ja kokoonpuristumiseen. Kalliomurskeen tasainen rakeiden muoto selittää paremman tuloksen tutkimuksessa. Piha-alueiden täyttövaiheessa epätasainen painuminen aiheuttaa lisää työtä, ja mikäli kerroksia ei saada varmuudella tiivistettyä tasaisesti, voi myöhemmin ilmestyä painumia valmiiseen piharakenteeseen.

4.3 Koerakenteissa suoritettut tiiveys- ja kantavuuskokeet

Koerakenteiden kantavuutta tutkittiin kahdella menetelmällä. Loadmanmittauslaitteella määritettiin rakenteen kantavuus E-moduulina sekä tiivistettävän rakenteen tiiveysaste. Sitomattomien rakennekerrosten tiiveysaste voidaan määrittää 20 -50 cm syvyyteen.



Kuva 8. Loadman, kannettava pudotuspainolaite

Mittauksen periaatteena on pudottaa vapaasti putoava paino jäykälle kuormituslevylle ja mitata kuormituksen aiheuttama painuma laitteeseen kiinnitetyllä kiihtyvyyssanturilla. Laitteen elektroniikka laskee kiihtyvyyssignaalista aika-siirtymäkäyrän. Maksimisiirtymä = mitattu maksimipainuma. Kuormitus välittyy kuormituslevyyn pudotuspainoon kiinnitetyn kumivaimentimen avulla, jolloin kuormitus kasvaa joustavasti maksimiinsa kuten tavallisessa FWD pudotuspainolaitteessa. (<http://www.rakennuskone.fi/laadunvarmistuksen-menettelyt/>)

Taulukko 10 Loadman (30 cm) mittaustulokset:

Murskelaji,mm	E max, MPa	Painuma, mm	Tiiveysaste, r
SrM 0/31	93	1,08	1,45
SrM 0/55	108	0,93	1,63
KaM 0/31	120	0,83	1,78
KaM 0/55	179	0,56	1,97

Mittaustuloksista voidaan päätellä, että koerakenteiden tiivistäminen ei ollut aivan riittävä. Ainoastaan kalliomurske 0/55 mm täytti laskennassa käytetyn 160 MPa:n raja-arvon. Mittaustuloksissa huonoimman tuloksen sai soramurske 0/31mm, jonka E max. arvo jäi 93 MPa:n

Levykuormituskokeen avulla tutkittiin koerakenteiden kantavuutta. Levykuormituskoe tilattiin liperiläiseltä MM-mittaukselta, joka on Pohjois-Karjalan alueella toimiva geoteknisiin pohjatutkimuksiin sekä mittaukseen erikoistunut yritys. Mittausolosuhteet olivat vuodenajasta johtuen vaikeat, ja koerakenteet olivat ilmeisesti yöpakkasesta johtuen päässeet pinnasta jäätymään, mikä näkyi huonoina

kantavuusarvoina tuloksissa. Tutkimukseen otimme mukaan SrM 0/31 mm ja KaM 0/31 mm, koska näistä saimme vertailukelpoiset mittaustulokset.



Kuva 9. Levykuormituskokeen vastapainona käytettiin 26 tonnin painoista kairavinkonetta



Kuva 10. Levykuormituskokeen mittauslaitteisto.

Levykuormituskokeen tuloksien tulkinta:

Kuormituskertojen kantavuusarvoja verrataan toisiinsa, jolloin saadaan kantavuusaste $E2/E1$, josta voidaan päätellä maassa jäljellä olevaa tiivistymispotentiaalia. Kun kantavuusaste $E2/E1$ on pieni, maaperä ei enää tiivisty merkittävästi. Levykuormituskokeesta tulee huomata, että koetulokseen vaikuttavan maapohjan syvyys on suoraan verrannollinen käytettävän mittalevyn halkaisijaan. Levykuormituskokeen tehokas mittaus­syvyys on noin $2 \times$ levyn halkaisija (RIL, 1979).

Levykuormituskokeessa kantavuus $E1$ ja toistokuormituksen jäykkyys $E2$ lasketaan maksimikuorman (yleensä 60 kN) aikaansaaman kuormituslevyn keskimääräisen pohjapaineen p , siirtymän s ja kuormituslevyn säteen a avulla kaavalla 3. Kaavassa 3 esiintyvä kerroin 1.5 huomioi maapohjan ominaisuuksia ja jännityksen leviämisen kuormituslevyn alla.

Kaava 3.

(3)

$$E = \frac{1.5 \cdot p \cdot a}{s}$$

Taulukko 11.

LEVYKUORMITUSKOE								
Tilaaja		Ncc Roads Oy						
Työmaa		Joensuu Kitsarikangas			Paalu			
Sijainti	X	Koekenttä Y 0-31 kam Z			Pvm	13,11,2014		
					Kokeen	MV		
					ottaja			
	Pohjamaa			φ 25 cm	Huom!			
	Pengertäyte		/	φ 30 cm				
	Eristyskerros			φ 45 cm	Märkä			
	Jakava kerros			Sää				
	Kantava kerros			Lämpöt.	0			
	Kulutuserros			Huom.				
Kuormitus			Levyn painuma 1/100 mm					
Mano- metri	Voima	Paine pSi	Kello 1	Kello 2	Kello 3	Summa	Keski- arvo	Huom.
13	350	500	26	45	54	125	41,7	
0	0	0	0	7	10			
33	1000	1400	58	89	100	247	82,3	
64	2000	2800	85	130	151	366	122,0	
90	3000	4200	133	206	241	580	193,3	
125	4000	5700	210	321	398	929	309,7	
150	5000	7100	342	490	455	1287	429,0	
180	6000	8500	480	620	490	1590	530,0	=S ₁
0	0	0	300	435	380	1115	371,7	
33	1000					0	0,0	
64	2000					0	0,0	
90	3000					0	0,0	
125	4000					0	0,0	
150	5000					0	0,0	
180	6000	8500	558	629	504	1691	563,7	
0	0	0						
							192,0	=S ₂
VAATIMUS		E ₁ =318.5*60/S ₁		E ₁ = 36,06		MN/m ²		
E ₁ >60 MN/m ²							E ₂ /E ₁ =	2,76
E ₂ /E ₁ <2,2		E ₂ =318.5*60/S ₂		E ₂ = 99,53		MN/m ²		
MM-MITTAUS OY TEHTAANTIE 8 80400 YLÄMYLLY P. 040-5868818			Toimen- pide		Pvm		Allek.	N:o
			Tutk.				2	
			Tark.					
			Hyv.					
			Hylätty					

Levykuormituskokeen tulokset 0/31mm kalliomurske

Taulukko 12.

LEVYKUORMITUSKOE								
Tilaaja	Ncc Roads Oy							
Työmaa	Joensuu Kitsarikangas				Paalu			
Sijainti	X	Koekenttä				Pvm	13,11,2014	
	Y	31srm				Kokeen	MV	
	Z					ottaja		
	Pohjamaa			φ 25 cm	Huom!			
	Pengertäyte		/	φ 30 cm				
	Eristyskerros			φ 45 cm	Märkä			
	Jakava kerros			Sää				
	Kantava kerros			Lämpöt.	0			
	Kulutuserros			Huom.				
Kuormitus			Levyn painuma 1/100 mm					
Mano- metri	Voima	Paine pSi	Kello 1	Kello 2	Kello 3	Summa	Keski- arvo	Huom.
13	350	500	50	46	52	148	49,3	
0	0	0	0	3	0			
33	1000	1400	90	86	95	271	90,3	
64	2000	2800	136	135	143	414	138,0	
90	3000	4200	216	220	219	655	218,3	
125	4000	5700	345	344	340	1029	343,0	
150	5000	7100	480	475	470	1425	475,0	
180	6000	8500	660	665	670	1995	665,0	=S ₁
0	0	0	445	455	420	1320	440,0	
33	1000					0	0,0	
64	2000					0	0,0	
90	3000					0	0,0	
125	4000					0	0,0	
150	5000					0	0,0	
180	6000	8500	690	780	758	2228	742,7	
0	0	0						
							302,7	=S ₂
VAATIMUS		E ₁ =318.5*60/S ₁		E ₁ = 28,74		MN/m ²		
E ₁ >60 MN/m2							E ₂ /E ₁ =	2,20
E ₂ /E ₁ <2,2		E ₂ =318.5*60/S ₂		E ₂ = 63,14		MN/m ²		
MM-MITTAUS OY TEHTAANTIE 8 80400 YLÄMYLLY P. 040-5868818			Toimen- pide		Pvm		Allek.	N:o
			Tutk.					1
			Tark.					
			Hyv.					
			Hylätty					

Levykuormituskokeen tulokset 0/31 mm SrM

Troxler -laitteella voidaan mitata asfaltin, maaperän, lajitteen tai betonin tiiviyyttä, sekä maaperän ja lajitteen kosteutta (Troxler Electronic Laboratories 2011). Troxler-laitetta käytetään mittaustyökaluna, talonrakentamisessa, ja infrarakentamisessa. Mittaus tapahtuu rakenteen pinnasta. Tutkimuksessani Troxler-mittauksella tutkittiin koerakenteiden tiiveyttä.



Kuva 11. Troxler tiheys- ja kosteusmittari

Taulukko 13.

Murskelaji	DD, Kuiva	WD, Märkä	Tiiveys %
SrM 0/31mm	2133	2260	94,38
SrM 0/55mm	2143	2239	95,71
KaM 0/31mm	2161	2181	99,08
KaM 0/55mm	2220	2273	97,67

Troxler -mittauksen tulokset.

Jos tehtyjä Troxler mittauksia verrataan tierakenteen laatuvaatimuksiin, niin I-laatulokkaan vaaditaan valmiilta jakavalta kerrokselta vähintään keskimäärin 95 % tiiviysaste. II-laatulokassa vaatimus on 92 %. Yksittäisten mittauksien arvot eivät I-luokassa saa alittaa 92 % ja II-luokassa 87 %. Jakavan kerroksen laatuvaatimusten täyttyminen määritellään suunnitelmissa tapauskohtaisesti. (RIL 132- 2000, 49 - 50.) Valmiille kantavalle kerrokselle vaaditaan I- laatulokassa keskimäärin 95 % ja II-laatulokassa 92 % tiiviysaste. Yksittäisille tiiviysasteen arvoille vaatimukset ovat I-luokassa 92 % ja II-luokassa 87 %. Jälleen tiiviysvaatimusten toteutuminen osoitetaan suunnitelmien mukaisesti. (RIL 132-2000, 51 - 52.)

5 Kustannusvertailu

5.1 Työ- ja materiaalikustannusten vertailu

Normaaleissa piharakenteissa kantavuus kantavan kerroksen päältä täyttyy, mutta laskennallinen routanousu on melko suuri (90 – 110 mm). Mikäli routanousu halutaan saada pieneksi, on massojen vaihto suoritettava 1700 mm syvyyteen asti. Näin syvälle menevät massanvaihdot eivät ole yleisiä. Yleisesti massojen vaihto tehdään n. 1000 mm syvyyteen. Eristetyissä piharakenteissa kantavuus kantavan kerroksen päältä täyttyy, ja laskennallinen routanousu on pieni, alle 30 mm. Esimerkkinä käytetyissä rakennetyypeissä eristetty rakenne tulee kalliimmaksi kuin normaali rakenne yksikköhinnoilla laskettuna. Kalliomurskeella rakenteet tulevat yksikköhintojen perusteella halvemmaksi. Näissä laskelmissa ei ole otettu vielä huomioon työn osuutta. Vertaillaksemme kustannuksia niin että työn osuus sisältyy niihin, täytyi määrittää esimerkkikohte. Kustannusvertailuun valittiin esimerkkikohteeksi 1000 m² kerrostalon piha-alue Joensuun keskustasta. Entisten, käyttöön kelpaamattomien maamassojen läjitysalue sijaitsee 10 km päässä työkohteesta.

Vertailtaviksi rakenteiksi valittiin eristetyt rakenteet. Soramurskeella toteutettu rakenne vaatisi massojenvaihdon 1000 mm syvyyteen ja kalliomurskeella vastaava rakenne vaatisi maamassojen vaihdon 750 mm syvyyteen.

Lisäkustannuksia syvemmälle menevä rakenne kasvattaa kaivuvaiheessa syvemmällä olevien kaivuhaittojen muodossa, ja pois ajettavien maamassojen määrän kasvaessa. Kaivettaessa 250 mm syvemmälle syntyy 1000 m² alalta 250 rakenneteoreettista kuutiota (m³ ktr) maamassoja, joiden löyhtymiskerroin on 1,5 ja ryöstökerroin 1,05. 250 m³ ktr muunnetaan kertoimilla 394 irtokuutioksi (m³ itd), eli alalta tulee 394 lavakuutiota lisää massojen ajoa läjityspaikalle. Ajon hinta kymmenen kilometrin matkalle on 4€ /m³, eli 394 m³ itd kertaa 4€ / m³ on 1576 € lisää kustannuksia.

Piha-alueilla sijaitsee yleisesti paljon erilaisia kaivuhaittoja, eli kaapeleita, sade-vesiputkia ja kaivoja. Piharakennuksien matalat perustukset aiheuttavat sitä enemmän lisätöitä mitä syvemmälle maamassojen vaihto viedään. Piha- alueella kaivaminen on huomattavasti hitaampaa kuin tasokaivu tyhjällä tontilla. Työ-aikamenekit on otettu kesällä 2014 tehdyistä vastaavista kohteista.

Kun 394 m³ itd maamassoja kaivetaan piha-alueelta, on realistinen kaivuu- ja poiskuljetusmäärä kaupunkialueella kaksi 15 m³itd:n kuorma-autollista tunnissa, eli 30 m³itd:ta tunnissa. Tähän kuluu aikaa noin 13 tuntia.

Kaivuhaitoille varataan lisääaikaa yksi tunti jokaista 100 m² kohden, josta tulee 10 tuntia lisää. 13 tuntia + 10 tuntia on 23 tuntia. Kaivinkoneen tuntivuokra 75€ tunti kertaa 23 tuntia on 1725 € lisää kustannuksia.

Kaivinkoneen apuna toimivan lapiomiehen on oltava mukana 23 tunnin ajan. Lapiomiehen tuntihinta 35 € kertaa 23 tuntia on 805 € lisää kustannuksia.

Kaivusyvyyden lisäys 25 cm:llä kasvattaa kustannuksia pihan aukikaivuuvaiheessa seuraavasti: maamassojen ajot 1576 €, kaivinkoneen tuntivuokrat 1725 € ja lapiomiehen kustannus 805 €. Lisäkustannus yhteensä on 4106 € + arvonnäkövero 24 %, 985,44 € on 5091, 44 €. Tämä tarkoittaa noin viiden euron lisäkustannusta neliöhintaan.

Rakennekerrosten täyttövaiheessa lisäkustannuksia aiheuttaa kantavan ja jakavan kerroksen paksuuden lisääminen. Soramurske vaatii yhden tiivistyskerran enemmän verrattuna kalliomurskeeseen. Esimerkkirakenteissa kantavan ja jakavan kerroksen paksuudet ovat soramurskeella 750 mm ja kalliomurskeella 500 mm. Kalliomurskeen tiivistäminen kahdessa 250 mm kerroksessa on mahdollista suhteellisen kevyelläkin tiivistyskalustolla, mutta soramurske vaatii kolme tiivistyskertaa. Kerrostalon piha-alueen sokkeloiset käytävät ja erilaiset katokset estävät yleensä raskaan tiivistyskaluston käytön. Koerakenteissa suorite-tuista mittauksista voidaan todeta, että soramurske vaatii useampia tiivistyksiä, ja raja-arvon 160 MPa saavuttaminen voi olla hankalaa. Myös soramurskeen epätasaisempi kokoonpuristuminen aiheuttaa lisätöitä asfalttipohjaa tehdessä.

250 mm kerros mursketta 1000 m² alueelle on määrältään 250 m³ ktr, joka muunnetaan irtokuutioiksi kertoimella 1,54. Siitä saadaan tulokseksi 384 irtokuutiota.

kuutiota. Kun irtokuutiot kerrotaan ominaispainolla 1,65 tonnia/ m³itd, saadaan tulokseksi 635 tonnia soramursketta. Kaivinkone ja apumies pystyvät levittämään ja tiivistämään käytännössä rekkakuormallisen (46 tonnia) mursketta tunnissa rakenteeseen. 635 tonnin levittäminen ja tiivistäminen tuottaa lisäkustannuksia 14 tuntia kaivinkoneelle ja apumiehelle. Kun kaivinkoneen tuntivuokra (75 euroa), ja apumiehen palkkakustannus (35 euroa/ tunti) kerrotaan lisätyötunneilla (14 h) saadaan lisäkustannukseksi 1540 euroa.

Rakennekerrosten tiivistäminen vaatii soramurskeella toteutetulla rakenteella useamman tiivistyskerran kalliomurskeeseen nähden. Soramurskeella useampi tiivistyskerta lisää kustannuksia arviolta kaksitoista tuntia. Kun se kerrotaan apumiehen palkalla (35 euroa/h), saadaan lisäkustannukseksi 420 euroa.

Epätasaisesta kokoonpuristumisesta johtuvien lisätöiden määrä 1000 m² alalta tarkoittaa noin neljää tuntia töitä kaivinkoneelle ja apu/mittamiehelle. Kun kerrotaan kaivinkoneen vuokra (75 euroa/h) ja apu/mittamiehen palkka (35 euroa/h) neljällä, saadaan tulokseksi 440 euroa lisäkustannuksia.

Rakennekerrosten täyttövaiheen lisäkustannukset ovat siis yhteensä 2400 euroa. Kun siihen lisätään arvonlisävero (24 %) 576 euroa saadaan rakennekerrosten täyttövaiheen lisäkustannusten kokonaissummaksi 2976 euroa.

Piha-alueen rakennekerrosten toteuttaminen soramurskeella vaatii paksummat rakennekerrokset. Tämä aiheuttaa lisäkustannuksia seuraavasti: piha-alueen aukikaivu 5091,44 euroa sekä piha-alueen täyttö ja tiivistys 2976 €. Kun nämä summat lasketaan yhteen, saadaan lisäkustannuksen määräksi 8067,44 € / 1000 m².

5.2 Johtopäätökset

Vertailin yleisesti käytettyjä piha-alueen eristettyjä rakennekerroksia kallio- ja soramurskeella toteutettuna. Esimerkkikohteeksi valitsin 1000 m²:n kokoisen piha-alueen, jossa pohjamaana on märkä ja hiekkainen siltti. Rakennekerrosten paksuus saatiin laskennallisesti soramurskeella yhteensä 1000 mm, ja kalliomurskeella 750 mm. Molemmissa ratkaisuissa routanousu on laskennallisesti pieni, alle 30 mm. Laskennoissa kerrospaksuudet on määritetty siten, että tavoittekantavuus 160 MN/m² kantavan kerroksen päältä täyttyy.

Kustannukset yhteensä:

Piha-alueen eristetty rakenne, joka on toteutettu kalliomurskeella.

- rakennekerrosten yhteenlaskettu paksuus on 750 mm.
- materiaalikustannus 31,30 € / m².

Piha-alueen eristetty rakenne, joka on toteutettu soramurskeella

- rakennekerrosten yhteenlaskettu paksuus 1000 mm
- materiaalikustannus 33,80 € / m².
- lisätyökustannukset 8,07 € / m².
- yhteishinta 41,87 € / m², joka muodostuu materiaalista ja lisäkustannuksista

Kalliomurskeella toteutettu eristetty rakenne on 10,57 € / m² edullisempi kuin soramurskeella toteutettu.

6 Pohdinta

Tutkimuksen tulokset olivat ennalta odotettavissa, mutta kalliomurskeen ylivormaiset tulokset niin kantavuus- kuin tiiveyskokeessakin yllättivät. Tutkimuksen tuloksia katsottaessa on otettava huomioon, että soramurskeen laatuja on lähes yhtä paljon kuin on soranottoalueitakin. Tutkimustuloksia voidaan pitää kuitenkin vertailukelpoisina, koska soramurskeet ovat CE-hyväksytyjä, ja näin ollen täyttävät niille laaditut standardit. Yleinen käytäntö piha-alueiden kunnostusremonteissa on usein soramurskeella toteutettava malli. Toivottavasti tämä tutkimus auttaa kalliomurskeen käytön yleistymisessä piha-alueiden remonteissa.

Piha-alue remonttia suunniteltaessa on myös otettava huomioon kiviainesalueiden sijainti. Kuljetusmatkan pituus vaikuttaa huomattavasti murskeiden hintoihin.

Tutkimusta tehdessäni olen keskustellut useiden maanrakentajien kanssa, ja vaikuttaa siltä että tutkimustulokseni ovat samassa linjassa yleisen mielipiteen kanssa. Kalliomurskeella rakentaminen on helpompaa juuri tasalaatuisuuden takia. Rakennekerrokset saa tehtyä ja tiivistettyä vähemmällä työllä. Yleensä työn tilaaja on määrittänyt käytettäväksi rakennekerroksissa soramursketta, ja vaihtoehtoista tarjousta ei lähdetä kalliomurskeella tekemään pienentämällä rakennekerrosvahvuuksia, koska silloin otettaisiin vastuuta pohjarakennesuunnittelusta.

Jos tutkimuksessani todettuja seikkoja ei oteta huomioon piharakenteiden suunnittelun alkuvaiheessa, saatetaan päätyä virheelliseen lopputulokseen kokonaiskustannusten arvioinnissa. Esimerkkinä virheellisestä kustannusarviosta voidaan esittää, että jos piha-alueelle, joka on kooltaan 1000 m², ja sen kerrosvahvuus on 1000 mm, menee mursketta 1540 irtokuutiota. Tämän jälkeen tilaaja laskee kalliomurskeen olevan noin neljä euroa kuutiohinnaltaan soramursketta kalliimpaa. Kun tilaaja kertoo murskemenekin kuutiohinnoilla, hän saa tulokseksi kalliomurskeella toteutetulla ratkaisulla 6160 euroa suuremman hinnan,

vaikka tutkimukseni osoittaa, että kalliomurskeen käyttö piharakenteissa on kustannustehokkaampaa kuin soramurskeen.

Lähteet

- Tiehallinto. 2004. Tierakenteen suunnittelu. Helsinki.
alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf [luettu 2.2.2015]
- RIL 132 – 2000, 2008. Talonrakennuksen maarakenteet.
Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry
- RIL 132, 1979. Talonrakennuksen maatoiden työselitys.
Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry
- RIL 234 – 2007, 2007.
Pihojen pohja- ja päällysrakenteet: suunnittelu- ja rakentamisohjeet,
Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL Ry
- Troxler Electronic Laboratories Inc. 2012. Troxler transportation guide.
<https://www.troxlerlabs.com/downloads/pdfs/ship.pdf>
[luettu 23.1.2015]
- Tekninen kauppa. 2015. Laadunvarmistuksen menettelyt.
www.rakennuskone.fi/laadunvarmistuksen-menettelyt/
[luettu 16.1.2015]